

# 前期日程

令和4年度入学試験（前期日程）

## 理科（物理・化学）

（ 医 学 部 ）

### ————— 解答上の注意事項 —————

1. 「解答始め」の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この問題冊子は全部で9ページあります。落丁、乱丁又は印刷不鮮明の箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせなさい。
3. 解答紙4枚と計算紙1枚は、糊付けされています。「解答始め」の合図があったら、初めにすべての用紙を丁寧に切り離しなさい。上手に切り離せない場合や誤って破いてしまった場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
4. 問題は□1から□4まで4問あります。解答は、必ず解答紙の指定された箇所に記入しなさい。問題□1と問題□2は解答のみを記入しなさい。
5. 解答しない問題がある場合でも、解答紙4枚すべてを提出しなさい。
6. 試験終了後、問題冊子と計算紙は持ち帰りなさい。

1

容積が  $V$  の断熱容器 A と断熱材でできたシリンダーとピストンからなる容器 B を、栓が付いた細管で連結する。容器の外の気圧は  $p$  であり、細管の容積および細管と外との間を出入りする熱は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

はじめに、図 1 の左側のように、容器 B の容積が  $V$  となる位置でピストンを固定して栓を閉じ、容器 A を圧力  $p$ 、温度  $T$  の単原子分子理想気体で満たし、容器 B は真空にしておく。

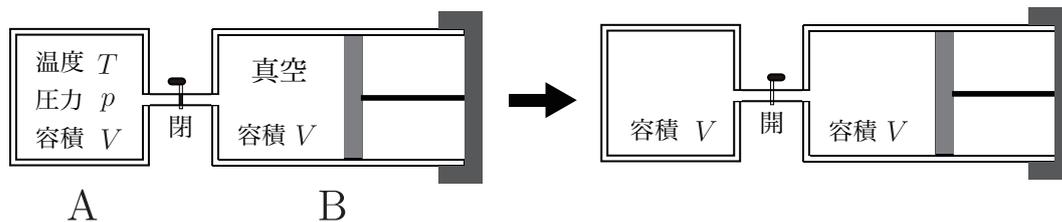


図 1

- (1) 栓を開けて 2 つの容器内の気体の圧力と温度が等しくなるまで時間をおく。このときの容器内の気体の温度を  $T$  を用いて表せ。
- (2) (1) のときの容器内の気体の圧力を  $p$  を用いて表せ。

次に図 1 の右側の状態から、図 2 のようにピストンを固定し栓を開けたまま容器 A 中のヒーターから気体に熱を与えたところ、容器内の気体の圧力が  $p$  になった。

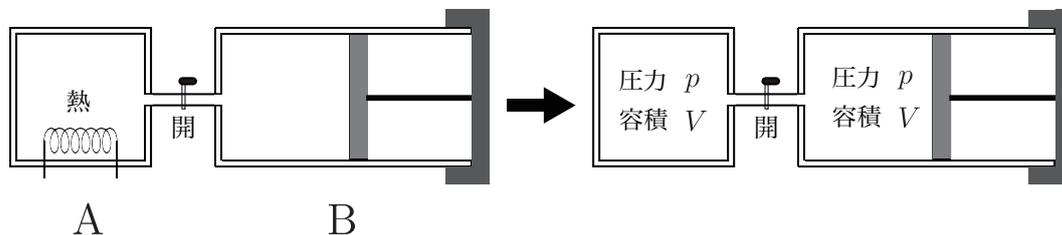


図 2

- (3) このときの容器内の気体の温度を  $T$  を用いて表せ。
- (4) 気体に与えた熱量を  $p$  と  $V$  を用いて表せ。

次に図2の右側の状態から、図3のように栓を開けたままピストンを固定せずにヒーターから熱量  $Q$  を気体に与えたところ、ピストンがゆっくりと動いた後に静止した。

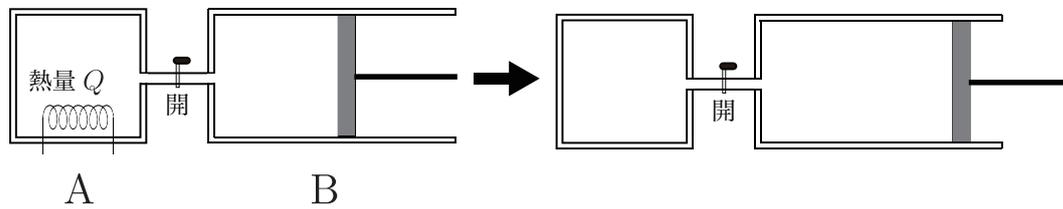


図3

- (5) このときの容器内の気体の温度上昇を  $Q$ ,  $T$ ,  $p$ ,  $V$  を用いて表せ。
- (6) このとき容器内の気体が外部にした仕事を  $Q$  を用いて表せ。

金属に光を照射したとき、光子のエネルギー全てを受け取った電子が原子の束縛を断ち切って外部に飛び出す現象を光電効果という。これは金属に特有のものではなく、光子のエネルギーが適度に大きければどんな物質中の電子にもおこる現象である。X線や $\gamma$ 線などのエネルギーの大きな光子は原子の内側の電子にエネルギーを与えやすく、最内殻の電子を放出させる。電子が飛び出し空いた軌道へ外側の高いエネルギー準位の軌道にある電子が落ち込むとき、軌道間のエネルギー差に対応した光子を放出することにより全体のエネルギーが保存される。ある程度原子番号の大きい原子から放出される光子は波長が短いX線となる。最内殻の電子のエネルギー準位は周囲の原子との結合状態の影響を受けにくく、元素固有の波長を持つX線を放出するため、元素の特定に用いられることがある。

(1) 元素固有の波長を持つX線の名称として適当なものを以下の選択肢から一つ選び、記号で答えよ。

- |          |            |
|----------|------------|
| (ア) 連続X線 | (イ) 放射光X線  |
| (ウ) 特性X線 | (エ) レントゲン線 |

(2) 以下の文章で正しくないものを一つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 金属中の自由電子の電離エネルギーは小さいため、金属によっては紫外線でも光電効果が起こる。
- (イ) 光電効果の他に、光の粒子性を示す現象としてコンプトン効果がある。
- (ウ) 原子の電離エネルギーより小さいエネルギーの光子は原子中の電子にエネルギーを与えない。
- (エ) 半導体ダイオードでは、自由に移動できる電子とホールが光子のエネルギーによってつくられる。

原子番号  $Z$  の原子は中心に  $+Ze$  の電荷 ( $e$  は電気素量) を持つ重い原子核がある。最内殻の1つの電子に着目し、その運動は原子核の電荷以外は水素原子内の運動と同様に取り扱えると仮定する。電子の電荷を  $-e$ 、質量を  $m$  とし、真空中のクーロンの法則の比例定数を  $k_0$  とする。

(3) 電子が原子核の周りで半径  $r$  の円軌道上を一定の速さ  $v$  で回っていると考える。円軌道の中心方向の電子の運動方程式を書け。

ボーアが導入した量子条件によると、物質波として電子が原子内に安定して存在するためには、円軌道の長さが電子のド・ブロイ波長の整数 ( $n$ , 量子数) 倍になっていると考えることができる。

この量子条件のもとで、電子のエネルギー準位について考える。プランク定数は  $h$  とする。

(4) 電子のド・ブロイ波長を  $m$ ,  $v$ ,  $h$  を用いて表わせ。

(5) 量子条件を用い運動方程式から  $v$  を消去して、電子の軌道半径を求めよ。

電子のエネルギー準位は運動エネルギーとクーロン力による位置エネルギーの和で決まる。

(6) 電子が  $n = 2$  から  $n = 1$  のエネルギー準位へ移動したときに放出される X 線のエネルギーを求めよ。ただし、水素原子の基底状態にある電子のエネルギーは電子が原子核から無限に離れている場合の位置エネルギーを基準にして  $-13.6\text{eV}$  であることを用いて、答えは、 $\text{eV}$  の単位で  $Z$  と数値だけを用いて示せ。

## 化 学

必要があれば，原子量および定数は以下の値を使いなさい。

H        1.0

C        12

N        14

O        16

気体定数         $8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

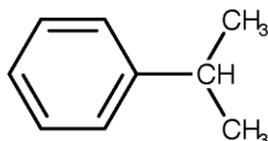
3 以下の実験に関する問いに答えなさい。ただし、計算においては計算過程も示し、答は有効数字3桁で書きなさい。

溶液中の一部の成分は通すが、他の成分は通さない膜を（ ）という。左右対称のU字管の中央を、溶質が通らないこの膜で仕切り、U字管の片方に純水を、もう片方に不揮発性非電解質の希薄水溶液を純水と同体積入れた。このU字管を27°Cの室内で放置すると、純水と水溶液の液面の高さの差が10.0 cmになるまで液面が移動した。

- (1) 文章中の括弧内にあてはまる語句を答えなさい。
- (2) 純水側と水溶液側のどちらの液面が上昇するかを答えなさい。
- (3) 液面差を生じさせる圧力の名称を答えなさい。また、その圧力は何 Pa かを答えなさい。ただし、 $1.00 \times 10^5$  Pa に相当する水銀柱の高さは760 mm、水銀の密度は $13.5 \text{ g/cm}^3$ 、水と水溶液の密度は $1.00 \text{ g/cm}^3$ とし、液面差が生じた後も水溶液の濃度の変化は無視できるものとする。
- (4) U字管に加えた不揮発性非電解質の希薄水溶液のモル濃度を答えなさい。
- (5) (4)の水溶液をビーカーAに、(4)の水溶液を2分の1に希釈した水溶液をビーカーBにそれぞれ100 mL入れた。これら二つのビーカーを一つの密閉容器に入れ放置すると、各ビーカーの水溶液量が変化し、それぞれ一定の体積となった。その時のビーカーAとビーカーB内の水溶液の体積を答えなさい。ただし、密閉容器内の蒸気圧は放置前後で変わらないものとする。

- 4 芳香族化合物に関する次の文章を読み以下の問いに答えなさい。なお、構造式は例にならって示しなさい。

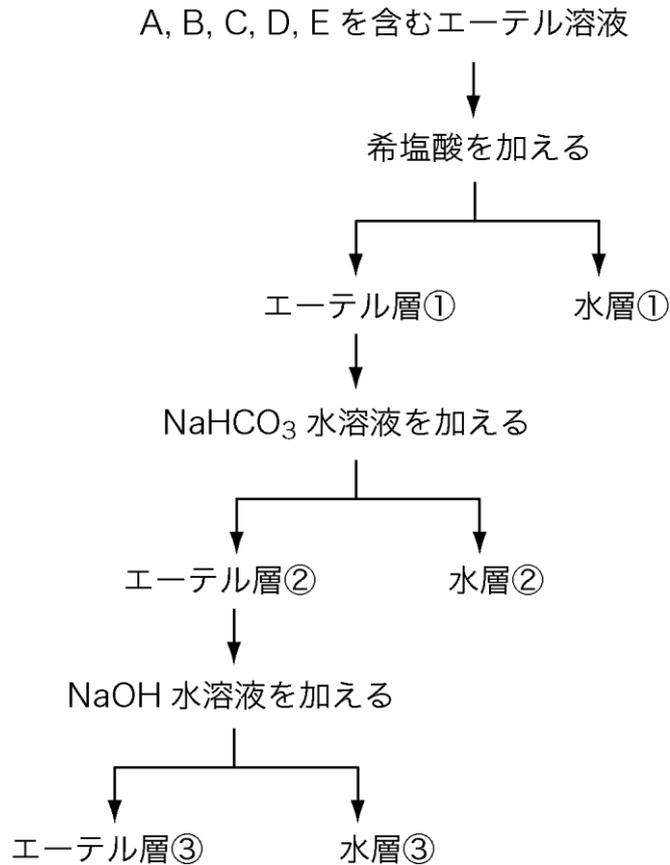
(構造式の例)



化合物 A, B, C, D, E はすべてベンゼン環をもち、炭素、水素、酸素、窒素のいずれかの元素の組合せでできている。5つの化合物の分子量は非電離状態で小さい方から順に 93, 94, 122, 123, 138 である。次の図のように、化合物 A, B, C, D, E を含むエーテル溶液を分液ろうとに入れ、まず希塩酸を加えてよく振り混ぜた後に静置し、エーテル層①と水層①に分けた。エーテル層①に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜ、同様にエーテル層②と水層②に分けた。さらに、エーテル層②に水酸化ナトリウム水溶液を加えてエーテル層③と水層③に分けた。なお、これらの操作は室温で行った。

化合物 A は淡黄色の液体、化合物 B は無色の液体であり、上記の分離操作ではそれぞれエーテル層③と水層①に分離された。化合物 A にスズと濃塩酸を反応させると化合物 B の塩酸塩が得られる。化合物 B を次亜塩素酸カルシウム水溶液に加えると赤紫色を呈する。化合物 C, 化合物 D, 化合物 E はナトリウムを反応させると水素が発生する。また、化合物 C と化合物 E は炭酸水素ナトリウムのような炭酸塩と反応させると二酸化炭素を生じる。

化合物 C, 化合物 D, 化合物 E を濃硫酸と濃硝酸の混酸と反応させるとそれぞれ分子量が 45 多い化合物が生成した。化合物 C と化合物 D では2つの異性体が生じたが、化合物 E ではほとんど異性体は生じなかった。化合物 C に濃硫酸とメタノールを反応させてできる化合物 F は消炎鎮痛剤として外用塗布薬に用いられる。



- (1) 化合物 A の構造式を書きなさい。
- (2) 硫酸存在下において化合物 B との反応で黒色の色素を生じさせるような物質は何か、その名称を答えなさい。
- (3) 上記 (2) と同様な色素は電気分解によっても生じることが知られている。化合物 B の入った電解槽に 2 つの電極、すなわち電極 I および電極 II を浸し、十分な数のダニエル電池を直列につないだ上で電極 I、電極 II に接続した。適当な電圧をかけて反応を進行させた結果、電極 I に色素が生成した。電解槽の電極 I および電極 II にそれぞれつながっている電池の電極の金属を答えなさい。
- (4) 化合物 C に分子量 102 の酸無水物を反応させてできる化合物はかぜ薬として広く利用されている。この化合物の構造式を書きなさい。

(5) 化合物 E の名称を書きなさい。

(6) 化合物 C, D, E はそれぞれエーテル層③, 水層①～③のどこに含まれるか答えなさい。

(7) 化合物 F に対して化合物 A～E と同様な分離操作を行った場合, 化合物 F はエーテル層③, 水層①～③のいずれに分離されるか答えなさい。